

Studi Kasus; “Koreksi terhadap Pengukuran Polutan di Udara Unit Perajin Logam dan Dampaknya terhadap Kesehatan”

CASE REPORT: CORRECTION OF POLLUTANT MEASUREMENT OF THE AIR OF BLACKSMITH UNIT AND ITS HEALTH IMPACT

Husaini¹, Marsetyawan NES², Adi Heru³, Agus Surono⁴

¹ Program Studi Kesehatan Masyarakat, Fakultas Kedokteran, Universitas Lambung Mangkurat,
Jl. A. Yani, Km. 36, Banjarbaru, Kalimantan Selatan, 70714, Indonesia

^{2,3,4} Fakultas Kedokteran Universitas Gadjah Mada,
Jl. Farmako Sekip Utara, Yogyakarta, 55281, Indonesia
email: husainifawaz@yahoo.com

Submitted : 15-3-2016, Revised : 21-3-2016, Revised : 4-5-2016, Accepted : 13-5-2016

Abstract

Understanding on the reaction of various air pollutants until today continues to grow, even it is hard to find information about the results of the reaction of various air pollutants standard. The aim of the research was to analyze and to correct of the the various air pollutants as well as to determine the health impact of blacksmith in 2014. The samples consisted of 38 blacksmith from 38 working units in Hulu Sungai Selatan of South Kalimantan. Analytical approach of the examination of air pollutants, blood samples and pulmonary functions of selected workers was applied in this study. The results showed a decrease in lung function and abnormalization workers immune response, as a result of exposure to various air pollutants. It is very difficult to determine and predict the causality of air pollution and health impact since there must be various factors contributing to the the health impact. because it is caused by pollutants singly or may be caused from the various reactions of these pollutants, for that, the correction need on the measurement and analysis of air pollutants that made so far; including its impact on the human body. The benefit of this research as a form of correction to use the Threshold Limit Value (TLV) and measurement of air pollutants, including the impact of the target organ in the human body.

Keywords : Measurements correction, pollutants, lung function, immune response.

Abstrak

Pemahaman reaksi berbagai polutan di udara sampai saat ini terus berkembang, bahkan hampir tidak ditemukan informasi tentang standar hasil reaksi berbagai polutan di udara. Tujuan penelitian untuk menganalisis dan koreksi pengukuran berbagai polutan di udara serta dampaknya terhadap kesehatan perajin logam. Studi kasus dilakukan pada 38 perajin logam serta 38 unit kerjanya di Kabupaten Hulu Sungai Selatan Kalimantan Selatan tahun 2013 dengan pendekatan observational analitik beserta pengambilan contoh polutan di udara dan pengambilan sampel darah serta pemeriksaan faal paru pekerja. Hasil penelitian menunjukkan penurunan fungsi paru dan abnormalisasi respon imun pekerja, akibat terpajan berbagai polutan di udara, sehingga sangat sulit ditentukan dan diprediksi karena disebabkan oleh polutan tunggal atau mungkin disebabkan dari hasil berbagai reaksi polutan tersebut, untuk itulah perlu dilakukan koreksi mengenai pengukuran dan analisis polutan di udara yang dilakukan selama ini, termasuk dampaknya di dalam tubuh manusia. Manfaat penelitian ini sebagai bentuk koreksi terhadap penggunaan Nilai Ambang Batas (NAB) dan alat ukur polutan di udara termasuk dampak target organ dalam tubuh manusia.

Kata kunci : Koreksi pengukuran, polutan, faal paru, respon imun.

PENDAHULUAN

Sentra perajin logam yang terletak di Kecamatan Daha Utara dan Kecamatan Daha Selatan, Kabupaten Hulu Sungai Selatan Provinsi Kalimantan Selatan, merupakan sentra penghasil alat pertanian, peralatan rumah tangga, alat pertukangan, alat perkebunan seperti produksi pengait buah kelapa sawit, *souvenir*, roda kapal dan lain-lain dari bahan dasar logam/besi bekas. Proses pembuatan alat-alat dari logam ini dimulai dengan memanaskan logam/besi tersebut di tungku/tanur dengan suhu bakar sekitar 600°C – 900°C menggunakan bahan tambahan dalam membakar yakni jenis kayu besi dan arang kayu, sedangkan suhu di lingkungan kerja rerata 34°C.¹

Perajin logam ini sudah berlangsung bertahun-tahun dari generasi ke generasi dan mereka bekerja tanpa Alat Pelindung Diri (APD), sehingga selalu terpajan oleh berbagai polutan seperti CO, SO₂, NO₂, uap besi dan debu besi, serta *Diesel Exhaust Particles* (DEP) beserta senyawanya.² Polutan CO, SO₂, NO₂, uap besi dan debu besi atau partikel lainnya, seperti DEP dan senyawa lainnya bila mencemari lingkungan kerja dan memajani perajin logam dalam waktu yang lama dan terus menerus, dapat meningkatkan peradangan mukosa yang berakibat meningkatnya permeabilitas mukosa tersebut. Paparan antigen/ polutan yang berulang menyebabkan sistem imun tersensitisasi. Antigen yang terinhalasi akan ditangkap oleh makrofag alveolar dan dipresentasikan sebagai *Antigen Presenting Cell* (APC) ke limfosit Th CD4 yang telah tersensitisasi melalui *Major Histocompatibility Complex* (MHC) kelas II. Limfosit Th CD4 yang selanjutnya memacu sel B mensintesis antibodi yang akan terbentuk IgG atau IgE. Penelitian lainnya bersifat *cross sectional study* dengan melihat data rekam medik karyawan yang bekerja pada penambangan dan pengolahan nikel di bagian *site plant*, dimana para karyawan ini kemungkinan lebih besar mengalami gangguan fungsi paru dibandingkan karyawan di luar *site plant* dengan OR; 5 kali (95%), CI; 1.331–17.998, Prevalensi; 39,2% –73,6% dengan risiko 5 kali.³

Dengan demikian bahwa paparan CO, SO₂, NO₂, uap besi dan debu besi yang diterima perajin logam dalam waktu yang lama dan terus menerus, dapat memberikan pengaruh buruk terhadap fungsi paru dan respon imun. Gangguan fungsi paru yang dialami oleh perajin logam bersifat restriktif, obstruktif dan gabungan (*mixed*), sedangkan respon imun yang terpacu yaitu sekresi IgE dan IgG. Berdasarkan studi kasus tersebut, peneliti tertarik untuk mengetahui hubungan paparan CO, SO₂, NO₂, uap besi dan debu besi dengan gangguan fungsi paru restriktif, obstruktif dan Gabungan (*mixed*), serta kadar IgE total dan IgG total perajin logam di Kecamatan Daha Utara dan Daha Selatan, Kabupaten Hulu Sungai Selatan Provinsi Kalimantan Selatan.

Manusia selalu hidup di ruang terbuka dan terlebih lagi saat bekerja, apabila manusia selalu terpajan dengan berbagai polutan/zat di ruang terbuka, maka zat/polutan tersebut tidak berdiri sendiri/bersifat tunggal, akan tetapi selalu berinteraksi satu zat dengan zat lainnya sehingga mampu mengubah toksisitas mereka. Interaksi zat kimia di udara terbuka melalui berbagai cara seperti mengubah absorpsi, biotransformasi atau eksresi salah satu atau lebih toksikan yang saling berinteraksi tersebut. Dua zat atau lebih yang diberikan secara bersamaan akan menghasilkan satu respons yang kemungkinan besar bisa bersifat; sinergi, kumulatif, antagonis, aditif dan independen.⁴ Hal reaksi dan respons zat di dalam tubuh juga akan berlaku demikian, sehingga sangatlah sulit untuk menentukan dan memprediksi tentang hasil reaksi yang terjadi dan kerusakan target organ dalam tubuh manusia. Zat yang terlepas ke udara mampu saling berikatan dan saling sinergi satu sama lainnya, serta bila masuk dalam tubuh manusia bersifat kumulatif, disimpan dalam waktu yang lama di dalam tubuh serta mudah diserap dan didistribusikan di dalam paru-paru atau dalam unit pernapasan, misalnya bila di udara bebas terdapat gas SO₂ dan gas NO₂, maka kedua zat kimia ini serta merta berinteraksi dan saling bersinergi untuk membentuk zat lebih toksikan. Oleh karena itu, sebelum melakukan pengukuran dan analisis berbagai polutan di udara tentu kita harus mempelajari sifat-sifat

kimia di udara dan kemungkinan terjadinya berbagai reaksi yang menyertainya, termasuk kemungkinan terciptanya polutan sekunder, polutan tersier dan polutan–polutan lainnya, lebih–lebih dampaknya terhadap target dalam tubuh manusia.²

Faktor zat kimia yang terlepas ke udara ada yang bersifat *allergen*, atau ada individu yang sensitive terhadap polutan yang memaparinya, dan hal ini bersesuaian dengan hasil penelitian Knox yang menyatakan bahwa setelah ada pajanan allergen pada individu yang sensitif pada zat kimia tertentu, misalnya polutan jenis *Diesel Exhauster Particle* (DEP) dan senyawanya, walaupun pada dosis yang rendah, tetapi mungkin saja zat/partikel tersebut bersifat adjuvant bagi allergen yang masuk ke dalam mukosa saluran pernapasan.⁵ Hal ini bersesuaian dengan hasil penelitian Kobayashi yang menyatakan bahwa partikel yang terurai akibat pembakaran suhu yang tinggi, seperti DEP dan Partikel logam lainnya dapat meningkatkan permeabilitas pembuluh darah dan parallel dengan resistensi menjadi meningkat pada saluran napas.⁶

Pemahaman akan reaksi berbagai zat kimia terus dilakukan penelitian–penelitian, termasuk penelitian ini untuk membuktikan bahwa selama ini secara konvensional kita hanya mengukur zat/polutan tunggal di udara kemudian dilakukan analisis dan dibandingkan dengan standar/NAB masing-masing negara yang seharusnya/semestinya harus mengukur dan menganalisis reaksi berbagai zat/polutan yang terjadi di udara terbuka tersebut, sehingga kita tidak salah dalam mengambil kebijakan atau keputusan dalam pengendalian pencemaran udara, lebih lagi pada proses yang melibatkan respon imun pekerja yang selalu terpajan polutan walaupun dalam dosis yang sangat rendah.²

Tujuan penelitian ini mengkaji hubungan pajanan CO, SO₂, NO₂, uap besi, dan debu besi dengan gangguan fungsi paru (restriktif, obstruktif dan gabungan), serta kadar IgE total dan IgG total serta menganalisis kadar polutan terhadap kesehatan paru perajin logam. Hipotesis penelitian yaitu ada hubungan positif antara pajanan CO, SO₂, NO₂, uap besi, dan debu besi

dengan gangguan fungsi paru restriktif, obstruktif dan gabungan, serta kadar IgE total dan IgG total. Ada hubungan positif antara kadar polutan dengan kesehatan paru perajin logam.

BAHAN DAN METODE

Penelitian dilaksanakan selama akhir tahun 2011, kemudian dilanjutkan tahun 2012, serta disempurnakan tahun 2013. Penelitian dilakukan pada unit kerja dan perajin logam, yaitu; di (a) Kecamatan Daha Utara yaitu Desa Panggandingan. (b) Kecamatan Daha Selatan yaitu Desa Sungai Pinang dan Desa Tumbukan Banyu, penelitian pada unit perajin logam dengan mengukur CO, SO₂, NO₂, uap besi dan debu besi, pengambilan sampel darah dan pengukuran spirometri pada perajin logam (c) Rumah Sakit Pemerintah Kandangan, Kabupaten Hulu Sungai Selatan untuk pengambilan sampel darah sebanyak 5 ml. (d) Balai Hiperkes dan Keselamatan Kerja Provinsi Kalimantan Selatan untuk mengukur gas CO, SO₂, NO₂, uap besi dan debu besi, dan pengukuran fungsi paru perajin logam jenis restriktif, obstruktif dan Gabungan (*mixed*). (e) Laboratorium Prodia Jakarta untuk memeriksa kadar IgE total dan IgG total serum perajin logam.

Subjek penelitian yaitu perajin dan unit perajin logam di Desa Panggandingan, Desa Sungai Pinang dan Desa Tumbukan Banyu, dengan kriteria inklusi yakni umur antara 25–50 tahun, perajin pada bagian penempaan, pembakaran dan peleburan logam dan gerinda, masa kerja minimal 5 tahun, belum pernah bekerja pada pekerjaan sejenis sebelumnya, tidak pernah merokok. Sedangkan kriteria eksklusi yakni mereka yang menolak berpartisipasi dalam penelitian, menderita sakit seperti alergi, TB paru dan infeksi paru lainnya. Teknik pengambilan sampel dalam penelitian ini adalah dengan menggunakan purposive sampling yang telah memenuhi kriteria inklusi dan kriteria eksklusi sebanyak 38 unit perajin dan 38 orang perajin logam.

Variabel penelitian (1) Variabel bebas: CO, SO₂, NO₂, uap besi dan debu besi. (2)

Variabel terikat: gangguan fungsi paru restriktif, obstruktif dan Gabungan (*mixed*), serta kadar IgE total dan IgG total serum. (3) Variabel luar yang dikendalikan yakni umur dan masa kerja. Bahan kimia dan peralatan yang dipergunakan dalam penelitian ini adalah dalam bentuk Kit yang terdiri atas tes ELISA. Adapun alat-alat yang akan digunakan dalam penelitian ini adalah penangas air, spektrofotometri merek *Biosystem type* BTS-305, oven merek *Hetto*, pH meter (*cyberscan*), *vortex mixer* VM-300, lemari es (*Sharp*), alat gelas (*pyrex*), *gas analyzer* (*factory by; USA, Tech*) dan spirometer, semua peralatan sebelum digunakan sudah dikalibrasi.

HASIL

Hasil penelitian ini menunjukkan bahwa kualitas parameter udara lingkungan kerja rerata untuk $\text{CO}=11,539 \text{ mg/Nm}^3$, $\text{SO}_2=0,013 \text{ mg/Nm}^3$, $\text{NO}_2=0,033 \text{ mg/Nm}^3$, uap besi= $5,479 \text{ mg/Nm}^3$ * dan debu besi= $5,924 \text{ mg/Nm}^3$ * (keterangan: * di atas nilai ambang menurut SE Menaker No. 01/Men/1997 dengan $\leq 5 \text{ mg/Nm}^3$).

Untuk kondisi restriktif pagi hari ada 28 responden (74%) yang abnormal dengan rincian ada 20 responden (53%) mengalami kejadian restriktif ringan dan ada 8 responden (21%) yang mengalami kejadian restriktif sedang, sedangkan yang normal ada 10 responden (26%). Kemudian pada sore hari ditemukan 28 responden (74%) yang abnormal dengan rincian ada 15 responden (40%) mengalami restriktif ringan dan 13 responden (34%) yang mengalami restriktif sedang, kemudian yang normal ada 10 responden (26%). Setelah dilakukan uji t- berpasangan terdapat perbedaan yang signifikan ($p: 0,001 < \alpha$) antara restriktif pagi dengan restriktif sore hari. Untuk kejadian obstruktif pada pagi hari terdapat 9 responden (24%) dengan rincian, ada 8 responden (21%) mengalami obstruktif ringan dan ada 1 responden (3%) mengalami obstruktif sedang, kemudian sore hari terdapat 24 responden (63%) yang mengalami obstruktif dengan rincian, ada 22 responden (58%) mengalami obstruktif ringan, dan ada 2 responden (5%) yang mengalami obstruktif sedang. Setelah dilakukan uji t- berpasangan terdapat perbedaan

yang signifikan ($p: 0,004 < \alpha$) antara obstruktif pagi dengan obstruktif sore hari. Untuk kelainan fungsi paru gabungan pada pagi hari terdapat 8 responden (21%) yang mengalami kejadian, dan pada sore hari ada 22 responden (58%) yang mengalami kejadian. Setelah dilakukan uji t- berpasangan tidak terjadi perubahan yang signifikan ($p: 0,431 > \alpha$) pada pagi hari maupun pada sore hari dengan $\alpha < 0.05$.

Untuk pemeriksaan IgE total ada 14 responden (37%) yang normal, kemudian ada 24 responden (63%) yang abnormal. Sedangkan untuk pemeriksaan IgG total ada 15 responden (39%) yang normal dan ada 23 responden (61%) yang abnormal berdasarkan standar dari laboratorium Prodia Jakarta. Setelah dilakukan uji korelasi Pearson tidak ada hubungan yang signifikan antara peningkatan kadar IgE total dengan kadar IgG total ($p: 0.718 > \alpha$). Hubungan pajanan CO, NO₂ dan debu besi dengan gangguan fungsi paru restriktif mempunyai hubungan yang signifikan dengan uji korelasi Pearson ($p: 0.026$, $p: 0.029$ dan $p: 0.003 < \alpha$). Sedangkan untuk parameter SO₂ dan uap besi tidak mempunyai hubungan yang signifikan dengan uji korelasi Pearson ($p: 0.173$ dan $p: 0.359 > \alpha$). Untuk hubungan pajanan CO, SO₂, NO₂, uap besi dan debu besi dengan gangguan fungsi paru obstruktif mempunyai hubungan yang signifikan dengan uji regresi logistik ($p: 0.049 < \alpha$). Untuk hubungan pajanan CO, SO₂, NO₂, uap besi dan debu besi dengan gangguan fungsi paru gabungan mempunyai hubungan signifikan dengan uji regresi logistik ($p: 0.037 < \alpha$).

Sedangkan hubungan pajanan CO, SO₂, NO₂, uap besi dan debu besi dengan IgE total mempunyai hubungan yang signifikan dengan uji regresi logistik ($p: 0.043 < \alpha$) dimana nilai α dalam penelitian ini < 0.05 . Dan untuk hubungan pajanan CO, SO₂, NO₂, uap besi dan debu besi dengan IgG total setelah dilakukan *uji Partial Least Square* (PLS) mempunyai hubungan yang signifikan dengan nilai R²: 0.1569.

Pada tabel di bawah ini memperlihatkan karakteristik dari hasil pemeriksaan faal paru pekerja dan hasil laboratorium pemeriksaan imunoglobulin pekerja, beserta variasi kejadiannya.

Tabel 1. Variasi Hasil Pengukuran Spirometri dan Hasil Pemeriksaan Laboratorium terhadap Imunoglobulin Perajin Logam di Kabupaten Hulu Sungai Selatan, Provinsi Kalimantan Selatan.

No	Varian Hasil Spirometri FVC, FEV ₁ , Mixed		Hasil Lab		Jumlah Responden	Persentase (%)
			IgE total	IgG total		
1	+	+	+		7	18,42
2	+	-	+		6	15,79
3	+	+	-		4	10,53
4	+	-	-		3	7,89
5	-	+	+		2	5,26
6	-	-	-		0	0
7	-	-	+		3	7,89
8	-	+	-		5	13,16
9	Gabungan				8	21,05

Keterangan: + Spirometri = Abnormal = Terjadi kelainan fungsi paru
 - Spirometri = Normal = Tidak terjadi kelainan fungsi paru
 + Imunoglobulin = Abnormal = Terjadi peningkatan kadar Imunoglobulin
 - Imunoglobulin = Normal = Tidak terjadi peningkatan kadar Imunoglobulin
 Gabungan = Salah satu dari variabel yang diukur ditemukan abnormal. Responden dinyatakan sehat secara fisik dan anamnase oleh dokter independen

Tabel 2. Hasil Statistik dari Variabel Bebas terhadap Variabel Terikat Perajin Logam di Kabupaten Hulu Sungai Selatan, Provinsi Kalimantan Selatan.

No	Var. Bebas	Kadar Polutan (NAB)	Variabel Terikat				
			FVC	FEV ₁	Mixed	IgE total	IgG total
1	CO	di bawah NAB	+	+	+	+	+
2	SO ₂	di bawah NAB	-	+	+	+	+
3	NO ₂	di bawah NAB	+	+	+	+	+
4	Uap besi	di atas NAB	-	+	+	+	+
5	Debu besi	di atas NAB	+	+	+	+	+

Keterangan: + Kelainan fungsi paru = Terdapat hubungan yang signifikan (Uji Korelasi Pearson dan uji Regresi Logistik)
 - Kelainan fungsi paru = Tidak terdapat hubungan yang signifikan
 + Imunoglobulin = Terdapat hubungan yang signifikan (Uji Regresi Logistik dan uji PLS)
 - Imunoglobulin = Tidak terdapat hubungan yang signifikan
 Untuk IgE total yang paling berpengaruh adalah SO₂ (Uji Regresi Logistik)
 Untuk IgG total yang paling berpengaruh adalah CO dan Uap Besi (Uji PLS).

PEMBAHASAN

Secara keseluruhan faktor penyebab terjadinya hubungan pajanan CO, SO₂, NO₂, uap besi dan debu besi dengan kejadian restriktif, obstruktif, gabungan, peningkatan kadar IgE total dan kadar IgG total perajin logam adalah adanya sumber risiko/potensi bahaya dan sifat/karakteristik polutan yang selalu memajani perajin

logam dalam bekerja setiap harinya, dimana perajin ini bekerja selalu berdekatan dengan sumber bahaya serta pada suhu lingkungan yang panas (rerata 34⁰C) akibat dari berbagai proses pembakaran dan peleburan logam yang sudah berlangsung cukup lama memajani perajin logam, dimana perajin ini juga dalam bekerja tidak menggunakan dan menjalankan prinsip-prinsip Keselamatan dan Kesehatan Kerja (K3) sehingga

berdampak buruk terhadap kesehatan terutama terjadinya berbagai infeksi dan alergi.

Hal ini sejalan dengan hasil penelitian Goldsmith dan penelitian Groth yang menyatakan bahwa gas dalam tubuh di distribusikan di paru-paru dan disimpan dalam waktu yang lama. Faktor di atas, kemungkinan besar ditambah dengan adanya reaksi dari gas yang terlepas ke udara akan berikatan dengan zat lainnya yang ada di udara saat itu.^{7,8} Gas/zat yang terlepas ke udara akan saling bereaksi dan saling menyokong dalam menurunkan fungsi paru apabila terus menerus terpajan dan sudah tentu bersifat akumulatif di dalam tubuh atau di dalam unit pernapasan.⁹

Hasil penelitian yang lain menjelaskan bahwa penyakit akibat terpajan uap besi sebagai gejala *Metal Fever* merupakan pintu masuk untuk perkembangan penyakit yang berhubungan dengan pernapasan.⁵ Ditemukan *Interstitial Pulmonary Fibrosis* (IPF) setelah pajanan jangka panjang, prevalensi bertambah berat/banyak di tempat kerja yang mempunyai ventilasi buruk.¹⁰ Hasil penelitian Buerke menyebutkan sebanyak 40,9% yang bekerja di industri pengelasan, banyak menderita penyakit paru restriktif (penyakit paru interstitial).¹¹ Faktor penyebab lainnya kemungkinan karena pajanan yang berulang-ulang dan tidak adanya penyedot uap dan debu di tempat kerja, sehingga polutan sangat mudah untuk memajani perajin logam dalam bekerja, selain tidak menggunakan Alat Pelindung Diri (APD).

Kemungkinan lainnya karena kombinasi dari polutan di udara, sehingga menyebabkan terjadinya reaksi dan polutan menjadi lebih reaktif, korosif dan toksik bila terpajan oleh perajin logam. Hal ini bersesuaian dengan penelitian Erhabor dan hasil penelitian Diaz yang menyebutkan bahwa komposisi campuran antar partikel atau agen organik dan anorganik berkontribusi dalam reaksi untuk menurunkan fungsi paru dan meningkatkan gangguan lainnya, terutama bagian-bagian pernapasan, termasuk logam transisi selama proses pembakaran, dan *Polycyclic Aromatic Hydrocarbon* (PAH) yang berasal dari proses pembakaran berbagai jenis logam, serta endotoksin yang merupakan sumber bakteri.^{12,13}

Beberapa dari bagian partikel dan target sel saling mempengaruhi, misalnya transisi

logam vanadium dan tembaga ditemukan mampu memediasi ekspresi gen sitokin yang diinduksi dengan sisa minyak dan abu yang mencemari udara di lingkungan kerja dari sumber emisi partikel. Lipopolisakarida (LPS) tampaknya menjadi elemen utama /bagian dari UAP daerah yang tercemar akibat polutan udara akibat dari pembakaran logam yang bercampur atau melekat minyak dan oli.¹⁴ Kemungkinan penyebab yang lain adalah perajin logam ini sudah lama terpajan dan terus menerus oleh polutan dari aktivitasnya, ditambah lagi kegiatan terkadang dilakukan melampaui jam kerja (> 8 jam dalam sehari), sehingga memberikan pengaruh terhadap kelelahan fisik. Adanya kelelahan fisik dan indikasi keluhan sakit yang diabaikan oleh perajin logam, memberikan andil terhadap lebih mudah terjadinya reaksi di dalam tubuh pekerja dan mempercepat proses kerusakan sel tubuh. Banyaknya keluhan batuk, gatal tenggorokan dan demam pada malam hari adalah sebagai pertanda awal kelainan fungsi paru, walaupun perajin logam ini menyatakan bahwa hal tersebut sudah terbiasa mereka rasakan.

Hasil penelitian lainnya yakni terdapat hubungan yang signifikan ($p: 0,043 < \alpha$) antara CO, SO₂, NO₂, uap besi dan debu besi dengan IgE total. Faktor penyebab tingginya kadar IgE total pada perajin logam adalah kemungkinan polutan banyak bersifat alergenik dan kemungkinan pula terjadinya reaksi hipersensitivitas pada individu perajin logam tersebut. Penyebab lainnya adalah kemungkinan terjadinya reaksi antar jenis polutan yakni CO, SO₂ dan NO₂ yang menjadikan lingkungan kerja bertambah buruk. Persoalan lainnya adalah suhu lingkungan kerja yang panas (rerata=34°C) juga menyebabkan percepatan kondisi fisik perajin logam menjadi cepat lelah, sehingga daya tahan tubuh menurun. Penelitian ini menunjukkan bahwa ada 24 responden (63%) dari 38 responden yang rerata nilai IgE total jauh di atas batas normal, yakni 139,42 IU/mL. Nilai batas normal adalah < 87 IU/mL untuk dewasa.

Hal ini sejalan dengan pendapat Eva dan Saryono yang menjelaskan kadar CO, SO₂, NO₂, uap besi dan partikel besi di lingkungan kerja merupakan racun bagi yang terpajan setiap hari dalam waktu yang lama dan terus menerus, serta akan menimbulkan efek inflamasi, terjadinya peningkatan produksi sitokin dan cedera paru-paru, hal ini merupakan pintu masuk utama untuk

kelainan atau terjadinya reaksi tubuh lainnya termasuk alergi dan terjadinya berbagai infeksi paru dan saluran napas lainnya.^{15,16}

Hasil penelitian berikutnya ialah ada hubungan yang signifikan antara CO, SO₂, NO₂, uap besi dan debu besi dengan IgG total ($R^2 = 0.1569$) dengan rerata nilai IgG=1.618 IU/mL melampaui nilai batas normal antara 700–1.600 IU/mL, dan banyaknya perajin logam yang mengalami peningkatan kadar IgG total yakni ada 23 responden (61%) yang abnormal. Hal ini kemungkinan diakibatkan terpajan dari gas, uap, partikel dan DEP beserta senyawanya dimana bahan besi/plat besi yang dibakar/dilebur sangat berpotensi mempunyai efek racun jika dibakar pada suhu yang tinggi yakni di atas 600°C, bersifat pneumosiderosis dan akan memicu inflamasi neutrofilik, juga perajin logam yang terus menerus terpajan setiap bekerja dalam waktu lama, semakin memberikan potensi terjadinya gangguan fungsi paru, dan infeksi lainnya serta terjadinya perubahan kadar imunoglobulin, khususnya IgG total.

Hasil pengukuran fungsi paru (restriktif, obstruktif dan gabungan/*Mixed*) dengan Spirometer dan hasil laboratorium pemeriksaan imunoglobulin (IgE total dan IgG total) serum darah perajin logam hubungannya dengan hasil ukur polutan di udara mempunyai 10 variasi kejadian dan ini menjawab tujuan dan hipotesis dalam penelitian ini akan koreksi terhadap pengukuran kadar polutan di udara sebagai berikut:² (1) ditemukan hasil pengukuran Spirometer restriktif, obstruktif dan gabungan/*mixed* terjadi abnormal (kelainan) dan jika dihubungkan dengan IgE total dan IgG total dengan hasil abnormal atau di atas dari nilai ambang batas kadar IgE total dan IgG total dalam serum darah perajin logam. (2) ditemukan hasil pengukuran Spirometer restriktif, obstruktif dan gabungan/*mixed* terjadi abnormal (kelainan) dan jika dihubungkan dengan IgE total dengan hasil normal atau tidak di atas dari nilai ambang batas kadar IgE total, kemudian jika dihubungkan dengan hasil IgG total dengan hasil abnormal atau di atas dari nilai ambang batas kadar IgG total dalam serum darah perajin logam. (3) ditemukan hasil pengukuran Spirometer restriktif, obstruktif dan gabungan/*mixed* terjadi abnormal (kelainan) dan jika dihubungkan dengan IgE total dengan hasil abnormal atau di atas dari nilai ambang batas

kadar IgE total, namun demikian jika dihubungkan dengan hasil IgG total dengan hasil normal atau tidak di atas dari nilai ambang batas kadar IgG total dalam serum darah perajin logam. (4) ditemukan hasil pengukuran Spirometer restriktif, obstruktif dan gabungan/*mixed* terjadi abnormal (kelainan) dan jika dihubungkan dengan IgE total dengan hasil normal atau tidak di atas dari nilai ambang batas kadar IgE total, begitu pula dengan hasil IgG total dengan hasil normal atau tidak di atas dari nilai ambang batas kadar IgG total dalam serum darah perajin logam. (5) ditemukan hasil pengukuran Spirometer restriktif, obstruktif dan gabungan/*mixed* terjadi normal (tidak ada kelainan) dan jika dihubungkan dengan IgE total dengan hasil di atas dari nilai ambang batas kadar IgE total, begitu pula dengan hasil IgG total dengan hasil di atas dari nilai ambang batas kadar IgG total dalam serum darah perajin logam. (6) ditemukan hasil pengukuran Spirometer restriktif, obstruktif dan gabungan/*mixed* terjadi normal (tidak ada kelainan) dan jika dihubungkan dengan IgE total dengan hasil tidak di atas dari nilai ambang batas kadar IgE total, tetapi hasil IgG total adalah di atas dari nilai ambang batas kadar IgG total dalam serum darah perajin logam. (7) ditemukan hasil pengukuran Spirometer restriktif, obstruktif dan gabungan/*mixed* terjadi normal (tidak ada kelainan) dan jika dihubungkan dengan IgE dengan hasil di atas dari nilai ambang batas kadar IgE total, tetapi hasil IgG total adalah normal atau tidak di atas dari nilai ambang batas kadar IgG total dalam serum darah perajin logam. (8) terjadi abnormal (kelainan) salah satu fungsi paru (restriktif, obstruktif dan gabungan/*mixed*) dan salah satu terjadi abnormal (di atas dari nilai ambang batas kadar) baik IgE total maupun IgG total pada serum darah perajin logam. (9) Hasil ukur polutan CO, SO₂ dan NO₂ di bawah NAB dihubungkan dengan restriktif, obstruktif dan *mixed*, kadar total IgG dan total IgE semuanya positif (ada gangguan kesehatan) kecuali polutan SO₂ hubungannya dengan restriktif dengan nilai negatif (tidak ada gangguan kesehatan). (10) Hasil ukur polutan uap besi di atas NAB jika dihubungkan dengan restriktif hasilnya negatif (tidak ada gangguan kesehatan pekerja).

Hasil penelitian tersebut di atas (Tabel 1 dan Tabel 2) yang merupakan temuan baru (*novelty*) memperlihatkan berbagai fenomena zat/polutan di udara terhadap dampak buruk bagi

kesehatan kerja dimana rata-rata hasil pengukuran zat/polutan tunggal di udara terbuka masih jauh di bawah Nilai Ambang Batas (NAB) yang ditetapkan oleh Pemerintah RI, dan sebaliknya ada sebagian kecil kadar polutan di udara yang terukur di atas NAB, tetapi justru tidak menyebabkan dampak buruk bagi kesehatan pekerja.²

Penyebab fenomena ini adalah terjadinya berbagai reaksi kimia dan patut diduga terciptanya polutan sekunder, polutan tersier atau peningkatan polutan lainnya karena adanya reaksi fotokimia dari sinar matahari atau akibat suhu lingkungan kerja yang panas, sehingga sulit menentukan penyebab gangguan paru oleh polutan tunggal.² Hal ini juga bersesuaian dengan pendapat ahli bahwa suhu yang meningkat ditambah pula adanya sinar matahari, termasuk terjadinya reaksi dari dua atau lebih bahan kimia di udara menciptakan polutan sekunder, misalnya dengan adanya sinar matahari dapat menyebabkan peningkatan efek bahan-bahan kimia di udara. Polutan sekunder mempunyai sifat fisik dan kimia yang tidak stabil, sehingga sangat mudah bereaksi dan berubah susunan kimiawi dengan adanya zat/bahan kimia lainnya di udara maupun di dalam tubuh.¹³

Pendapat tersebut di atas didukung oleh hasil penelitian Saryono yang menyatakan bahwa terjadinya polutan sekunder di udara karena adanya reaksi hidrolisa, oksidasi dan reaksi fotokimia, misalnya reaksi antara $2\text{SO}_2 + \text{O}_2 \rightleftharpoons 2\text{SO}_3$, atau terjadinya reaksi: $\text{SO}_3 + \text{H}_2\text{O} \rightleftharpoons \text{H}_2\text{SO}_4$, dan reaksi: $\text{CO} + \text{Fe} \rightleftharpoons \text{FeCO}_2$, kemudian hasil akhir dari reaksi kimia ini bila masuk ke dalam tubuh manusia menimbulkan efek jauh lebih toksik, iritasi, sinergi dan akumulatif jika dibandingkan dengan polutan primer atau polutan tunggal dari unsur kimiawi bahan/zat yang berada di udara.¹⁷ Menurut hasil penelitian Diaz-Sanchez yang menyatakan bahwa ada hubungan antara peningkatan SO_2 dengan partikel debu.¹³ Tingginya kadar bahan partikel debu biasanya diikuti dengan tingginya gas SO_2 , sehingga sulit membedakan efek dari kedua bahan tersebut. Pendapat ini bersesuaian dengan penjelasan dari WHO bahwa bila sistem kerja silia rusak akibat pajanan bahan/zat kimia baik akut maupun secara kronis menyebabkan tertahannya substansi berbahaya dalam paru untuk waktu yang cukup lama dan perpanjangan masa pajanan yang berulang tentu memperbesar risiko efek yang merugikan.⁴ Menurut hasil penelitian Sagai

yang menyatakan bahwa pajanan secara kronis dari gas SO_2 dapat menghasilkan Superoksidase (O_2) dan Radikal Hidroksil (OH) yang merupakan komponen aktif menurunkan fungsi paru dan menyebabkan odema pada paru sehingga dapat merusak sel endothelial.¹⁸

Hal lain kemungkinan disebabkan selain faktor lamanya terpajan yang dialami oleh perajin logam, juga berhubungan dengan sifat atau karakteristik berbagai polutan atau gas, misalnya saja walaupun gas NO_2 yang terdapat disana masih di bawah NAB, maka kemungkinan terjadi secara akumulatif di dalam tubuh, sehingga menyebabkan terjadinya reaksi berantai terhadap sel tubuh, terutama disebabkan gas NO_2 yang juga terdapat pada lokasi yang sama dalam penelitian ini sehingga mempercepat terjadinya reaksi dengan uap air pada unit perajin logam.² Gas NO_2 secara berulang-ulang dan masa yang lama bila masuk ke dalam tubuh manusia dapat menurunkan netrofil dan merusak sel epitelial pada bronki manusia. Gas NO_2 yang terlepas ke udara dan bila terus menerus memajani lingkungan dan pekerja dapat menurunkan fungsi paru dan hal ini bersesuaian dengan hasil penelitian Suharto yang menyatakan bahwa pajanan gas NO_2 yang memajani lingkungan kerja walaupun dalam dosis yang rendah mampu menyebabkan cedera paru.¹⁹

Hasil analisis jenis polutan lainnya dalam penelitian ini yaitu gas NO_2 yang hasil ukurnya masih di bawah NAB yang telah ditentukan tetapi dampaknya terdapat hubungan yang signifikan dengan gangguan kesehatan pekerja logam.² Hal seperti ini berhubungan dengan karakteristik atau sifat dari polutan NO_2 ini yang sangat mudah bereaksi dengan zat lainnya. Sifat dari gas NO_2 ini mudah larut dalam air dengan kecepatan rendah, karena itu akan meresap pada saluran pernapasan bagian bawah yakni dapat menembus saluran napas dan alveoli dan gas NO_2 adalah gas oksidan yang menyebabkan inflamasi pada epitel dengan cara membentuk oksidan toksik dan sebagai mediator inflamasi,² dan juga bersesuaian dengan penjelasan WHO bahwa dua zat atau lebih yang diberikan atau terlepas secara bersamaan dapat bersifat sinergi atau toksikan saling menguatkan efek toksik dan efek toksik yang dihasilkan lebih besar dari efek total yang diberikan zat kimia itu sendiri.⁴

Hal lainnya dalam penelitian ini yang

menarik adalah faktor alergis dari pekerja logam besi ini, karena walaupun kadar polutan masih jauh di bawah NAB akan mampu menyebabkan kelainan terhadap kesehatan.² Paparan singkat dari NO₂ dapat memperburuk penyakit–penyakit alergis dari hewan coba (tikus).²⁰ Nitrogen Dioksida (NO₂) banyak mempunyai sensorik sehingga mampu merangsang ujung saraf ditenggorokkan atau mata sehingga terasa panas, gatal–gatal dan kadang–kadang mata berair. NO₂ juga memberikan efek iritasi pada saluran nafas bagian dalam. Nitrogen Dioksida (NO₂) terbentuk selama pembakaran, misalnya hasil pembakaran dari tungku perapian, mesin kendaraan bermotor dan pembangkit listrik, dan hampir semua NO₂ berasal dari pembakaran dibuang sebagai nitrogen monoksida dan secara bertahap melalui reaksi maka terbentuk NO₂ di udara terbuka. Gas NO₂ ini bersifat iritan bila tercampur dengan hasil pembakaran bensin yang menghasilkan hidrokarbon alifatik. NO₂ sebagian terlarut dalam lendir saluran pernapasan bagian atas. Ketika NO₂ terhisap maka gas ini menyebar ke seluruh tubuh. Penyerapan terjadi dalam paru–paru dalam bentuk asam nitrat atau garamnya, seperti yang terlihat dalam urin yang banyak adalah terbentuk nitrit atau nitrat. Nitrogen Dioksida jika bereaksi atau berikatan dengan ozon pada udara terbuka, maka dapat menimbulkan reaksi berantai dengan zat lainnya, sehingga bisa menyebabkan aditif atau efek sinergis, misal dengan SO₂ adanya infeksi bakteri, data menunjukkan bahwa dosis efektif untuk dapat menyebabkan iritasi paru dinyatakan dalam paparan per menit atau sebagai total paparan.

Nitrogen Dioksida dan Nitrogen Monoksida adalah radikal bebas dapat bereaksi di dalam sel akibat reaksi lipid peroksidase. dalam mekanisme otot–otot saluran pernapasan bagian dalam mampu terjadi kontriksi atau bronkokonstriksi yang menyebabkan terjadinya hambatan keluar masuk udara ke dalam bagian saluran pernapasan termasuk paru–paru. Efek spesifik dari paparan NO₂ pada penelitian hewan coba, kultur jaringan dan sel, maka NO₂ dapat menyebabkan perubahan sistem biokimiawi dalam tubuh terutama pada paparan dalam konsentrasi yang tinggi dan terus menerus dalam waktu yang lama. Efek yang terjadi terutama kerusakan sub seluler, hal ini karena sintesis fosfolipid pada paru yang mungkin akan

terganggu dengan adanya lipid peroksidasi setelah terpajan. Hasil analisis polutan/gas CO dalam hal penelitian ini berpengaruh didalam peningkatan kadar IgE total dan IgG total pada perajin logam karena kemungkinan bersifat sinergi atau aditif serta akumulatif di dalam tubuh dan efek yang paling umum atau paling menonjol akibat terpajan gas CO adalah penurunan sel pembentuk antibodi dan hal ini merupakan pintu masuk utama untuk terjadi kelainan atau terjadinya reaksi tubuh termasuk alergi dan infeksi paru dan saluran pernapasan.²

Temuan lainnya dari analisis penelitian ini adalah terdapatnya berbagai polutan seperti partikel dari uap besi dan unsur DEP terutama PAH sampai masuk ke dalam paru perajin logam² maka memicu reaksi alergi dan menyebabkan berbagai infeksi, kemudian di dalam paru–paru partikel yang berasal dari DEP mempunyai efek racun sehingga memperburuk penyakit pernapasan yang sudah ada sebelumnya, terutama bronkitis, PPOK, terjadinya reaksi fibrosis dan zat yang sangat reaktif, toksik serta mempunyai potensi fibrogenik,²¹ dan mampu menyebabkan inflamasi dan peningkatan permeabilitas mukosa serta peningkatan endotoksin yang merupakan sumber bakteri.¹² Uap besi yang diterima pekerja dalam waktu yang lama dan terus menerus dapat menyebabkan terjadinya perubahan sel dan berakibat terjadinya genotoksik dan bahwa pekerja yang selalu terpajan dengan uap besi mempunyai kandungan DNA protein cross link yang berlebih akibat dari lintas paparan yang menghubungkan antar agen dan mempunyai potensi efek sebagai genotoksik. Logam partikel seperti mangan dan tembaga yang masuk ke dalam tubuh di simpan dalam mukosa hidung dan diangkut ke otak yang akan bersifat neurotoksisitas.²² Adanya korelasi positif antara konsentrasi NO₂ di udara dengan peningkatan kadar IgG.

Hasil ukur polutan lainnya yaitu debu besi dan uap besi, bahwa partikel besi dan uap besi mampu berinteraksi dengan alergen di mukosa hidung.² Hal ini diperkuat oleh penelitian yang dilakukan Erikson yang menyatakan partikel besi dan uap besi mampu berinteraksi dengan alergen di mukosa hidung sebagai pencetus terjadinya alergi karena mengarah pada isotype vivo beralih ke IgE dan mampu membuat sensitisasi ke alergen baru.²³ Reaksi alergi dan hipereaktivitas

radang pada saluran napas dari model hewan telah menunjukkan bahwa produksi antibodi alergi meningkat dan terjadi respon generasi Th₂ yang dihasilkan oleh interaksi antara alergen dan polutan juga dapat mengakibatkan efek alergi pada saluran pernapasan akibat kerja.²⁴ Polusi udara yang mengandung partikulat seperti uap besi dan debu besi termasuk partikel lainnya seperti *Diesel Exhaust Particles* (DEP) beserta senyawanya, mampu mempotensiasi proses peradangan kronis serta respon terhadap gejala akut pada saluran pernapasan dan menyebabkan induksi apoptosis melalui generasi *Reactive Oxygen Radical* (ROR) yang menyebabkan kehilangan permukaan membran asimetri dan kerusakan DNA, terjadi dermatitis atau alergi kulit lainnya akibat terpajan uap besi dan dapat memicu trigger/pencetus yang kronik walaupun bersifat ringan, terjadinya peradangan di paru-paru dan menunjukkan peningkatan tumorigenesis, dapat mempengaruhi produksi IgE. Secara spesifik ditemukan sel hiperplasia setelah intratrakeal atau respon inhalasi menunjukkan efek yang membantu pada produksi IgE.²³

Terjadinya penurunan fungsi paru dan abnormalisasi respon imun (IgE total dan IgG total) serum perajin logam dalam penelitian ini dengan adanya berbagai polutan di udara, membuktikan hipotesa bahwa apabila kita mengukur dan menganalisis berbagai polutan di lingkungan kerja selama ini yang dengan hasil ukur zat/polutan tunggal dan dihubungkan dengan Nilai Ambang Batas (NAB) baik di udara bebas maupun kadar polutan di dalam tubuh dengan menggunakan alat ukur spirometer, hal demikian perlu dikoreksi kembali.² sebab polutan yang terdapat di lingkungan kerja mudah sekali bereaksi atau berikatan dengan zat/molekul lainnya dan sudah tentu berhubungan pula dengan kondisi lingkungan dimana berbagai polutan tersebut berada seperti suhu yang panas, kelembaban yang meningkat, adanya bising dan getaran serta berhubungan pula dengan sifat atau karakteristik dari masing-masing polutan itu sendiri yaitu bersifat sinergi, aditif, independen, antagonis,^{1,2} serta berakumulatif baik di lingkungan kerja maupun di dalam tubuh, oleh sebab itu bahwa untuk mengukur polutan udara tidak cukup jika hanya dinilai dengan Nilai Ambang Batas (NAB) berdasarkan bentuk polutan itu sendiri, tetapi juga

harus dinilai berdasarkan ikatan dari berbagai reaksi kimia dan hal ini yang membedakan dengan penelitian-penelitian yang sudah ada. Mengingat bahwa apabila dua zat atau lebih terlepas ke udara secara bersamaan maka akan tercipta berbagai reaksi kimia tersebut di udara dan juga sangat sulit memprediksi terhadap kelainan atau kerusakan dalam tubuh manusia bila terpajan berbagai polutan walaupun zat tersebut berada jauh di bawah Nilai Ambang Batas (NAB) yang ditentukan oleh pemerintah suatu negara, termasuk Pemerintah RI. Dalam hal ini sangat bermanfaat bagi Pemangku Kepentingan agar tidak salah dalam memberikan suatu penilaian dan kesimpulan dalam menentukan kebijakan (treatment) dalam pengelolaan kualitas lingkungan kerja.²

Untuk mengantisipasi berbagai gangguan di lingkungan kerja akibat dari berbagai polutan hendaknya berhati-hati didalam memberikan sebuah kesimpulan hasil dari pengukuran kualitas udara di lingkungan kerja terutama bila hasil pengukuran berbagai polutan/zat masih di bawah Nilai Ambang Batas (NAB) yang diberlakukan suatu negara termasuk Pemerintah Republik Indonesia dalam hal ini Peraturan yang masih berlaku adalah SE Menaker RI Nomor. 01/Men/1997, karena sekecil apapun zat/molekul yang terlepas ke lingkungan kerja tidak menjamin lingkungan kerja tersebut termasuk pekerja menjadi aman (*safe*), terutama yang berhubungan dengan status imun seseorang atau yang berhubungan dengan sifat atau karakteristik dari polutan/zat tersebut.²

KESIMPULAN

Kesimpulan penelitian ini ialah terdapatnya hubungan positif dan signifikan akibat pajanan CO, NO₂, dan debu besi dengan terjadinya restriktif. Walaupun SO₂ dan uap besi tidak mempunyai hubungan yang signifikan, dan ada hubungan positif dan signifikan akibat pajanan CO, SO₂, NO₂, uap besi, dan debu besi dengan terjadinya obstruktif, kelainan fungsi paru gabungan, serta peningkatan kadar IgE total dan IgG total dengan $\alpha=0.05$ dalam penelitian ini. Terdapatnya hubungan kadar polutan di udara dengan gangguan fungsi paru dan kadar imunoglobulin perajin logam. Kadar polutan berdasarkan hasil penelitian masih banyak di bawah Nilai Ambang

Batas (NAB) tetapi mempunyai hubungan yang signifikan dengan gangguan fungsi paru dan kadar imunoglobulin perajin logam.

Kesimpulan lainnya yang paling berharga dalam penelitian ini adalah bahwa polutan yang terlepas ke udara secara bersamaan setelah dilakukan pengukuran satu persatu kadar polutan tersebut walaupun masih jauh berada di bawah Nilai Ambang Batas (NAB) maka tidak menjamin terciptanya lingkungan kerja menjadi aman (*safe*) termasuk para pekerja dan hal inilah yang perlu dikoreksi dalam melakukan dan analisis pengukuran kadar polutan di udara terbuka terhadap pengaruhnya bagi kesehatan manusia, sehingga sebagai saran dalam penelitian ini adalah diperlukan alat ukur yang baru, analisis laboratorium dan standar yang baru dalam pengertian tidak lagi menggunakan alat ukur kadar polutan di udara terbuka, termasuk analisis dan standar pencemaran polutan secara konvensional seperti sekarang ini terhadap hasil reaksi berbagai zat kimia/polutan di udara terbuka.

UCAPAN TERIMA KASIH

Saya sampaikan terima kasih kepada yang saya hormati dan saya banggakan seluruh guru dan dosen saya, sejak saya Sekolah Dasar sampai menyelesaikan Pendidikan Doktor di Fakultas Kedokteran Universitas Gadjah Mada Yogyakarta. Saya ucapkan banyak terima kasih kepada orang-orang terdekat saya, yaitu kedua orang tua dan mertua, istri dan putra-putri saya. Kesempatan ini saya sampaikan kepada Rektor dan Dekan Fakultas Kedokteran Universitas Lambung Mangkurat Kalimantan Selatan, saya sampaikan terima kasih kepada seluruh staff Program Studi Magister Ilmu Kesehatan Masyarakat FK Unlam, khususnya Maman Saputra, SKM, Melan Sari, S.Kom dan Hilmiyati, SST. saya juga banyak mengucapkan terima kasih kepada Kepala Daerah Kabupaten Hulu Sungai Selatan, Para Camat dan seluruh Kepala Desa di lokasi penelitian dan seluruh responden, Pimpinan dan seluruh staf laboratorium baik di Rumah Sakit Kandangan, Laboratorium Prodia Banjarmasin dan Jakarta, serta Laboratorium Balai Hiperkes dan Keselamatan Kerja Provinsi Kalimantan Selatan.

DAFTAR RUJUKAN

1. Husaini. Hasil survei dan wawancara terhadap 30 perajin logam di Kecamatan Daha Utara dan Kecamatan Daha Selatan Kabupaten Hulu Sungai Selatan. Provinsi Kalimantan Selatan. Kandangan; 2010.
2. Husaini. Hubungan pajanan CO, SO₂, NO₂, uap besi dan debu besi dengan gangguan fungsi paru dan kadar imunoglobulin. Disertasi Program Doktor. Fakultas Kedokteran, Universitas Gadjah Mada. 2014; 54 – 55.
3. Syamsurrijal, B., Ambar, W.R., Faisal, Y., Mukhtar, I and Ariya, K. Analisis hasil spirometri karyawan PT X yang terpajan debu di area penambangan dan pemrosesan nikel. Jakarta: Badan Penerbit Universitas Indonesia; 2009.
4. WHO. Hazardous chemicals in human and environmental health. publisher the international programme on chemical safety. Geneva 27: Swizerland; 2000.
5. Knox, RB., Suphioglu, C., Taylor, P., Desai, R., Watson, HC and Peng, JL. Major grass pollen allergen lolp-1 binds to diesel exhaust particles: implications for asthma and air pollution. J Clin Exp Allergy. 1997; 27:246 – 51.
6. Kobayashi, T and Ito, T. Diesel exhaust particulates induce nasal and mucosal hyperresponsiveness to inhaled histamine aerosol. J Fundam Appl Toxicol. 1995;27:195 – 202.
7. Goldsmith, CA., Imrich, A., Danaee, H., Ning, YY and Kobzik, L. Analysis of air pollution particulate-mediated oxidant stress in alveolar macrophages. J Toxicol Environ Health. 1998; 54:529 – 45.
8. Groth, M and Lyngenbo, O. Respiratory symptoms in danish welders. J Soc Med. 1989; 17(4):271 – 6.
9. Devalia, JL., Rusznak, C., Herdman, MJ., Trigg, CJ., Davies, RJ and Tarraf, H. Effects of NO₂ and SO₂ on airway response of mild asthmatic patients to allergen inhalation. Am J Respir Cell Mol Biol. 1994;321 – 157.
10. Zein, M., Rivard, C.I., Malo, J.L and Gautrin, D. Is metal fume fever a determinant of welding related respiratory symptoms and/or increased bronchial responsiveness? a longitudinal study. J Occup Environ Med. 2005;62:688 – 694.
11. Buerke, U., Schneider, J., Rosler, J and Woitowitz, HJ. Interstitial pulmonary fibrosis after severe exposure to welding fumes. Am J

- Ind Med. 2002;41(4):259 – 68.
12. Erhabor, GE., Fatusis and Obembe, OB. Pulmonary functions in arc-welders in east. J Afr Med. 2001. 78(9):461 – 4.
13. Diaz-Sanchez, D. Pollution and the immune response: atopic diseases-are we too dirty or too clean?. J Immunol. 2000a.101;11 – 18.
14. Mukono, H.J. Toksikologi lingkungan. Surabaya: Airlangga University Press; 2005.
15. Osornio, AR., Bonner, JC., Alfaro, ME., Martinez, L., Garcia, CC., Ponce, dL., et. al. Proinflammatory and Cytotoxic Effects of Mexico City air pollution particulate matter in vitro are dependent on particle size and composition. J Environ Health Perspect. 2010; 111:1289 – 93.
16. Eva, M., Faisal, Y., Wiwien, H.W dan Mukhtar, I. Pengaruh inhalasi sulfur dioksida terhadap kesehatan paru. J Cermin Dunia Kedokteran;2003.
17. Saryono. Biokimia respirasi (panduan praktis untuk mahasiswa dan praktisi dalam bidang ilmu kesehatan). Yogyakarta: Nuha Offset; 2009.
18. Sagai, M., Furuyama, A and Ichinose, T. Biological effects of diesel exhaust particles pathogenesis of asthma like symptoms in mice. J Free Radic Biol Med. 1996;21:199 – 209.
19. Suharto. Limbah kimia dalam pencemaran udara dan air. Yogyakarta: Penerbit Andi; 2011.
20. Matthew, E.P., Rebecca, L., Persinger., Charles, G., Irvin., Kelly, J., Butnor and Douglas, J. NO2 enhances allergic airway inflammation and hyperresponsiveness in the mouse. Am J Physiol Lung Cell Mol Physiol. 2005;290(1):144 – 52.
21. Proust, B., Ghislaine, L., Frank, R., Maryse, M., Anthony, L and Boris, V. B. Interference of a short term exposure to NO2 with allergic airways responses to allergic challenges in BALB/c mice. J Mediators Inflamm. 2002;11(4):251 – 260.
22. Kelleher, P., Pacheco, K and Newman, L.S. Inorganic Dust Pneumonias: The Metal-Related Parenchymal Disorders. J Environ Health Persp. 2000;108(Suppl 4):685 – 696.
23. Erikson, KM., Dorman, DC., Lash, LH., Dobson, AW and Aschner, M. Airborne Manganese Exposure Differentially Affects and Points of Oxidative Stress in an Age and Sex Dependent Manner. J Occup Environ Med. 2004;78:432 – 51.
24. Heo, Y., Saxon, A and Hankinson, O. Effect of Diesel Exhaust Particles and Their Components on the Allergen-Specific IgE and IgG Response in Mice. J Toxicol. 2001;159:143 – 158.
25. Yanagisawa, R., Takano, H., Ichinose, T., Yamaki, K., Ken, I.I., Sadakane, K and Yoshikawa, T. Components of Diesel Exhaust Particles Differentially Affect Th1/Th2 Response in a Murine Model of Allergic Airway Inflammation. J Clin Exp Allergy. 2006;36(3):386 – 95.